



# VAIHEISTETUN ULTRAÄÄNIKUVAUKSEN MEKANISOINTILAITE

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Esa Pöyhönen			
Työn nimi Vaiheistetun ultraäänikuvauksen mekanisointilaitteen kehitys			
Päiväys	19.5.2013	Sivumäärä/Liitteet	30
Ohjaaja(t) lehtori Anssi Suhonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) DEKRA Industrial Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän opinnäytetyön aiheena on vaiheistetun ultraäänikuvauksen mekanisointilaitteen kehitys. Opinnäytetyössä tutustuttiin vanhaan laitteeseen ja suoritettiin kehitysprojekti . Opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa uusi mekanisointilaite vaiheistetulle ultraäänikuvaukselle. Tavoitteena oli kehittää laitteen ominaisuuksia siten että se toimisi useammassa käyttökohteissa, mikä lisäisi vaiheistetun ultraäänen tarkastustilauksia. Työn tilaaja oli DEKRA Industrial Oy, joka on osa maailman kolmanneksi suurinta tarkastusyhtiötä. DEKRA Industrial Oy suorittaa monenlaisia tarkastuksia, joista ainetta rikkomattomat tarkastukset ovat yksi. Vaiheistettu ultraääniluotaus on yksi ainetta rikkomaton volumetrinen tarkastusmenetelmä.</p> <p>Kehitysprojekti käynnistyi kickoff-palaverista. Kehitysprojekti sisälsi luonnostelun, suunnittelun, koneistuksen ja kokoonpanon. Luonnostelussa käytettiin brainstorm-menetelmää. Valitusta luonnoksesta tehtiin 3D-malli SolidWorksilla. Malli siirrettiin MasterCamiin, jolla luotiin koneistusradat Savonian koneistuskeskukselle. Kokoonpanon jälkeen laite oli käyttövalmis.</p> <p>Tämän työn tuloksena oli mekanisointilaite, jota käytetään ensi syksynä Loviisan ydinvoimalan putkilinjojen tarkistamisessa.</p>			
Avainsanat vaiheistettu, ultraääni, rikkomaton koetus			
julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Esa Pöyhönen			
Title of Thesis Development of the mechanizing devise for phased ultrasonic inspection			
Date	19.5.2013	Pages/Appendices	30
Supervisor(s) lecturer Mr. Anssi Suhonen			
Client Organisation /Partners DEKRA Industrial Oy			
<p>Abstract</p> <p>The subject of this final year project was the development of a phased ultrasound imaging mechanization device. The thesis includes familiarization with the old device, the development project and results of the work. The aim of this study was to manufacture the mechanizing device for phased ultrasound scans. The objective is to develop the features of machine so that it would work in various places and thus increase orders for the phased ultrasound imaging. The work was commissioned by DEKRA Industrial Inc, which is part of the world's third largest inspection company. DEKRA Industrial, Inc. performs a wide range of inspections of which non-destructive testing is one.</p> <p>First, a kickoff-meeting was arranged to start the project. The development work included drafting, designing, machining and assembling. The method in drafting was brainstorming. Then, selected draft went to the design table in SolidWorks 2011. The model from SolidWorks was transformed in a MasterCam file where the toolpaths were made. MasterCam created a numerical control list which was fed in the machining center of Savonia UAS. In the machining center parts were manufactured and then assembled. After that the device was ready for the presentation.</p> <p>The result of this project was an approved mechanization device which will be used in the revision of Lovisa nuclear power plant.</p>			
Keywords phased, ultrasonic, non-destructive			
public			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	NDT – NON DESTRUCTIVE TESTING, AINETTA RIKKOMATON KOETUS .....	6
2.1	NDT-menetelmät .....	6
2.1.1	Visuaalinen tarkastus (VT) .....	6
2.1.2	Pintatarkastus .....	7
2.1.3	Volumetrinen tarkastus.....	8
3	VAIHEISTETTU ULTRAÄÄNI.....	10
3.1	Vaiheistetun ultraääniluotauksen periaate.....	10
3.2	Vaiheohjattu luotaus verrattuna tavanomaiseen luotaukseen .....	12
3.3	Ultraääniluotauksen kuvaustavat.....	12
3.3.1	A-skannaus (A-Scans) .....	13
3.3.2	Yksittäisen arvon B-skannaukset (Single Value B-Scans) .....	13
3.3.3	Poikkipinta-B-skannaukset (Cross-sectional B-Scans) .....	14
3.3.4	Lineaarinen skannaus (Linear Scans).....	14
3.3.5	C-Skannaus (C-Scans) .....	15
3.3.6	S-Skannaus (S-Scans) .....	16
3.3.7	Tiedon yhdistäminen ja kerääminen .....	17
4	MEKANISOINTILAITTEEN KEHITYS.....	18
4.1	Tavoitteet.....	18
4.2	Lähtökohta ja liittynät.....	18
4.3	Ominaisuuksien vaatimukset ja ratkaisut .....	18
4.4	Suunnittelu.....	19
4.5	Koneistus ja kokoonpano.....	22
5	YHTEENVETO.....	23
	LIITE 1 MENETELMIEN VERTAILU .....	24
	LIITE 2 VAATIMUSLUETTELO .....	25
	LIITE 3 VANHA MEKANISOINTILAITTE, ENCODER .....	26
	LIITE 4 VANHA MEKANISOINTILAITTE.....	27
	LIITE 5 UUSI MEKANISOINTILAITTE.....	28
	LIITE 6 UUSI MEKANISTOINTILAITTE AUKINAISENA JA TAITETTUNA .....	29
	LÄHTEET .....	30

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty DEKRA Industrial Oy:lle. Opinnäytetyön aiheena on kehittää mekanisointilaitetta vaiheistettuun ultraäänikuvaukseen. Kehitysprojektin keskeisenä tavoitteena on luoda käytössä olevasta laitteesta vaatimuslistan mukainen mekanisointilaite. Uudesta laitteesta tulee tehdä piirustukset, joista asiakas voi valmistaa laiteen omalla konepajallaan. Työ on hyvin merkittävä, sillä laitetta käytetään ydinvoimaloissa putkien kuvaamiseen.

Ydinvoimaloissa on alueita joissa syntyy säteilyä, joten laitteen tulisi olla mahdollisimman nopea ja helppo käyttää. Helpompi käyttö vähentää säteilevillä alueilla vietettyä aikaa, jolloin terveysriskit pienenevät. Laitteen käyttöaste kasvaa kehityksen myötä kun laitetta voidaan käyttää useammissa kohteissa.

Opinnäytetyössä esitellään yleisimmät NDT-menetelmät ja miksi rikkomatonta koetusta tehdään. Pääpaino on kertoa vaiheistetusta ultraääniluotauksesta NDT-menetelmänä ja luotauksessa käytettävän mekanisointilaitteen kehittämisestä.

DEKRA on aloittanut toimintansa vuonna 1925 Saksassa autojen katsastus yhdistyksenä. DEKRA on laajentanut tarkastustoimintaansa siitä lähtien prosessi- ja energiateollisuuteen sekä henkilöstön koulutukseen ja sertifiointiin. DEKRA jakaantuu siis kolmeen osaan joita ovat DEKRA Automotive, DEKRA Industrial ja DEKRA Personal. DEKRA Industrial Oy tarjoaa palveluja rikkomattomattomaan aineenkoetukseen, rikkovaan aineenkoetukseen, painelaite tarkastuksiin, sähkölaitteistojen tarkastuksiin sekä palonilmaisu- ja sammutuslaitteisiin. Mekanisointilaite tulee tukemaan rikkomattomaan aineenkoetuksen palveluja ultraääniluotauksen saralla. DEKRA on maailman kolmanneksi suurin tarkastus- ja testausyhtiö.

## 2 NDT – NON DESTRUCTIVE TESTING, AINETTA RIKKOMATON KOETUS

Ainetta rikkomattomalla koetuksella valmistaja tekee laadunvarmistusta etsimällä materiaalista vikoja. Viat voivat olla erilaisia epäjatkuvuuskohtia kuten esimerkiksi huukonen, halkeama, liitosvirhe tai väsymisestä aiheutunut murtuma. NDT-menetelmillä etsitään vikoja materiaalista rikkomatta ja muuttamatta sen ominaisuuksia.

Yritysten valmistamien tuotteiden tulee vastata asiakkaan ja viranomaisten asettamia vaatimuksia. Yritykset voivat todistaa luotettavuuttaan asiakkaalle valmistamalla laadukkaita tuotteita. Tuotteen laatu voidaan taas todistaa käyttämällä laadunhallintajärjestelmää. Kansainvälisesti hyväksytty laatujärjestelmä: ISO 9000 on sarja standardeja, jotka ohjaavat toiminnan johtamista ja laadun varmistamista yrityksissä.

Hitsaukseen liittyviä standardeja ovat SFS-käsikirjaa 66-1. Hitsauksen laadunhallinnan standardeja ovat SFS-EN ISO 287-1: Hitsaajan pätevyyskoe, 1418: Hitsaus henkilöstön ja hitsausoperaattoreiden pätevyyskokeet, 3834: Hitsauksen laatuvaatimukset, 5817: Hitsausluokat, 9013: Geometriset tuotemäärittelyt ja laatu toleranssit, 14731: Hitsauksen koordinointi sekä tehtävät ja vastuut ja 15607 – 15614: Hitsausohjeet (WPS) ja niiden hyväksyntä metalleille. Standardin SFS-EN ISO 3834 osat 2, 3 ja 4 käsittelevät eritasoisia laatu järjestelmiä. Kaikille järjestelmille yhteistä on pätevoidetyt hitsaajat, hitsauskoordinaattorit ja NDT-tarkastajat.

Ainetta rikkomattomia koetuksia tehdään laadunhallinnassa ennen tuotteen hitsausta menetelmäkokeiden sekä pätevyyskokeiden tarkastuksissa ja hitsauksen jälkeen hitsaussaumalle.

Tarkastuksia suoritetaan asiakkaan, sopimuksen tai viranomaisen vaatimuksesta.

Viranomaisen määräyksestä laitteet, jotka voivat aiheuttaa ihmishenkiä vaarantavan onnettomuuden, tulee kolmannen osapuolen tarkastaa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi painelaitteet, nostolaitteet ja vaarallisia aineita sisältävät laitteet. Tarkastuslaajuus tulee olla viranomaisten määräyksien mukainen. Liitoksen pettämisestä aiheutuvat vahingot vaikuttavat tarkastuslaajuuteen. Esimerkiksi ydinvoimaloissa on todella paljon kohteita joissa hitsaussaumojen tarkastuslaajuus on 100 % kun maanalaisissa kaukolämpöputkissa tarkastuslaajuus on yleensä vain 10 %.

### 2.1 NDT-menetelmät

Rikkomattoman koeistuksen menetelmät jaetaan kolmeen alueeseen, jotka ovat visuaalinen, pinta ja volumetrinen tarkastus.

#### 2.1.1 Visuaalinen tarkastus (VT)

Visuaalisten tarkastusten yhteinen piirre on se, että niillä nähdään pintaan avautuvat silminnähtävät virheet. Menetelmää käytetään tukemaan muita menetelmiä. Esimerkiksi visuaalisesti voidaan etsiä kohde johon käytetään pinta tai volumetrinen tarkastusmenetelmää. Visuaalisella tarkastuksella löydetään virheitä kuten halkeamat, avohuokoset liitosvirheet ja ontelot. Silmämääräinen tarkastus on halpa tarkastusmenetelmä.

## Ilman apuvälineitä

Visuaalista eli silmämääräistä tarkastusta tehdään jo hitsattaessa, kun hitsaaja seuraa sulan muotoa. Silmämääräisellä tarkastuksella huomataan suurimmat pinnalla ja pintaan asti näkyvät viat aina 50 µm:n viivamaiseen tai 100 µm:n pistemäiseen vikaan. Yleisimpiä menetelmällä löydettäviä vikoja ovat liitosvirheet, pintaan aukeavat huokokset, korkea kupu ja reunahaava. Vian tulee erottua taustastaan väriltään ja muodoltaan, jotta se on löydettävissä. Valaistuksen tulee olla tarkastettaessa 500 lx, joten taskulamppu on käytännöllinen väline tarkastuksissa.

## Apuvälineillä

Silmämääräisen tarkastuksen apuvälineinä käytetään suurennuslasia, erilaisia mittauslaitteita kuten a-mitan mittauslaite tai profiilikampa, peili, laser ja endoskoopit.

Endoskooppi on pieni kamera, jota ohjailaan esimerkiksi puolitaipuvalla johdolla tarkastettavan kohteen luokse. Endoskooppia käytetään luoksepääsemättömissä paikoissa, kuten halkaisijaltaan pienissä putkissa. Laserilla saa kartoitettua isoja alueita kerrallaan, se erottaa jopa 0,5 mm erot kymmenien metrien päästä. Laseri on erinomainen, kun kartoitetaan esimerkiksi säiliöiden sisäpuolista korrosiota.

### 2.1.2 Pintatarkastus

Pintatarkastuksien yhteinen piirre on se, että niillä nähdään pinnan läheisyydessä olevat ja pintaan avautuvat virheet. Menetelmällä materiaaleista löydetään pienempiä poikkeavuuksia kuin visuaalisella menetelmällä. Yleisimmät viat, joita materiaaleista löydetään pintamenetelmillä, ovat ontelot, halkeamat ja huokokset.

## Tunkeumaneste (PT)

Menetelmää käytetään pintaan avautuvien vikojen etsintään. Menetelmää voidaan käyttää aineille, jotka eivät ole huukoisia. Tunkeumanesteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään-värillisiin sekä fluoresoiviin, ja kolmeen eri alaryhmään, liuottimilla poistettavat, vedellä pestävät ja jälkiemulgoitavat tunkeumanesteet. Tunkeumanestetarkastuksen periaate on, että tunkeumaneste tunkeutuu tarkastettavan materiaalin onteloihin, koska nesteellä on hyvin suuri adheesio. Kappaleen pinnalta ylimääräinen tunkeumaneste huuhdotaan pois ja tarkastettavalle alueelle lisätään indikaattoriaine, joka imaisee tunkeumanesteen ontelosta pintaan kapilaari-ilmiön avulla. Viat suurenevat noin 50 – 500-kertaiseksi. Tunkeumanestettä ei kannata käyttää kohteissa, joissa materiaalin värjäytyminen haittaa. Esimerkiksi lasin tarkastamisessa tunkeumaneste värjää kappaleen pysyvästi, vaikka lasi ei ole huukoinen materiaali. Tarkastettavan kohteen tulee olla 10 – 50 °C, jotta tavanomaista tunkeumanestettä voidaan käyttää. Alle 10 ja yli 50 asteen lämpötiloissa käytetään standardin hyväksymiä erikoisaineita ja tarvittaessa tehdään toimivuuskoe. (SFS-EN 571-1 Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus)

## Magneettijauhe (MT)

Menetelmä käyttää hyväkseen materiaalin virheen aiheuttamaa poikkeamaa magneettivuossa särön ympärillä. Magneettijauhe kerääntyy poikkeaman ympärille muodostaen vian muotoisen indikaation. Poikkeama magneettikentässä muodostuu kun vika on kohtisuorassa magneettikenttään nähden. Magneettijauhetautarkastusmenetelmällä löydetään pintaan avautuvat ja lähellä pintaa sijaitsevat viat ferromagneettisista materiaaleista. Magneettijauheita on kuiva, märkä ja fluoroiva. Kuiva ja märkä magneettijauhe tarvitsee kontrastieron ja fluoroivajauhe vaatii UV-valon. (SFS-EN 1290 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetautarkastus)

## Pyörrevirta (ET)

Pyörrevirtamenetelmä on sähkömagneettinen menetelmä, jota käytetään sähköä johtavien materiaalien tutkimiseen. Menetelmä perustuu induktioon. Kappaleeseen indusoidaan pyörrevirtoja, jotka muodostaa magneettikentän ja epäjatkuvuuskohta aiheuttaa muutoksia magneettikenttään. Muutokset havaitaan testikelalla. (Åström, T.)

### 2.1.3 Volumetrinen tarkastus

Volumetrinen tarkastus on yhteinen piirre on, että niillä nähdään viat materiaalin sisältä. Kehittynyt ultraäänitekniikka on tehnyt ultraäänitarkastusmenetelmän helppokäyttöiseksi. Sen ansiosta ultraääni on vallannut radiografisen tarkastusmenetelmän aluetta. Radiografinen tarkastusmenetelmä on edelleen käytössä sillä se on ainoita menetelmiä, jolla voidaan tarkastaa ainevahvuudeltaan alle 6 mm terästä.

## Ultraääni (UT)

Ultraäänitarkastusmenetelmä perustuu äänen etenemiseen ja heijastumiseen virheistä tarkastettavassa aineessa. Viat ilmenevät, kun ultraääni kohtaa aineessä esteen, jonka äänenvastus poikkeaa tarkasteltavasta materiaalista. Ultraäänellä voidaan mitata myös aineen paksuuksia. Ultraäänellä voidaan helposti tarkastaa monimutkaisia geometrioita ja paksuja hitsejä yhdestä suunnasta ainevahvuuden ollessa 8 – 100 mm. Menetelmää rajoittaa ultraäänen vaimeneminen joissain aineissa, kuten valuraudassa, austeniittisissa teräksissä, nikkelipohjaisissa metalleissa ja muoveissa. Nämä materiaalit tarvitsevat erillisen hyväksynnän tarkastusmenetelmään, koska menetelmä on hankala standardisoida kun materiaalin ominaisuudet vaihtelevat niin paljon. (SFS-EN 1714 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus.)

## Radiografia (RT)

Radiografia perustuu aineen ja säteilyn vuorovaikutukseen ja absorptioon. Vika ilmenee, jos se eroaa tarkasteltavan materiaalin ominaisuuksista. Radiografiassa gamma- tai röntgensäteilyä tuotetaan kohteeseen, ja kohteen takana sijaitsevalle filmille muodostuu kuva tarkastettavasta kappaleesta. Röntgenlaitteella kuvataan perus terästä noin 25 mm:iin asti ja isotoopin gammasäteillä kuvataan jopa 200 mm:iin asti. Radiografisten kuvausten rajoittava tekijä on



kuvattavan kohteen luoksepäästävyys. Laitteet ovat raskaita ja kappaleen takapuolelle tulee päästä asentamaan filmi. Radiografian säteily on vaarallista soluille, minkä vuoksi kuvaaminen aiheuttaa erikoisjärjestelyjä. (SFS-EN 1435 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus.)

### 3 VAIHEISTETTU ULTRAÄÄNI

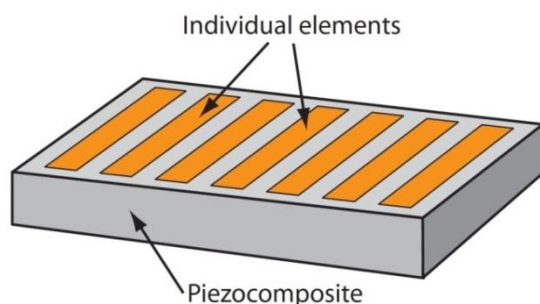
Vaiheistettu ultraääni on tullut monelle tutuksi lääketieteen sovelluksesta, jolla tutkitaan kehon sisäisiä elimiä. Vaiheistettua ultraääniluotausta on käytetty lääketieteessä jo 60-luvulta lähtien ja kaupallinen versio laitteesta esiteltiin 70-luvulla. Vaiheistettua ultraääniluotausta käytetään myös teollisuudessa. Teollisuuteen menetelmä tuli hieman myöhemmin materiaalien akustisten ominaisuuksien vaihtelevuuden vuoksi kuten lasikuidun, metallin ja keraamien. Menetelmä esiteltiin ensimmäisen kerran 80-luvulla. Laitteet olivat suuria sen aikaisen tekniikan vuoksi ja valtavasta tiedonmäärästä, joka liikkuu luotaimen ja lukulaitteen välillä. Nykyiset laitteet ovat kannettavia kevyiden akkujen ja kehittyneiden tietokoneosien ansiosta. Tieto liikkuu nopeasti luotaimen ja lukulaitteen välillä digitaalisen teknologian ansiosta. Reaaliaikainen kuva piirtyy lukulaitteen näytölle, mikä helpottaa vian etsinnässä ja luotaimen ohjattavuudessa. Vaiheistetun ultraäänen kehitys on ollut nopeaa 2000-luvulta lähtien, mikä on kasvattanut menetelmän käyttökohteita teollisuudessa. (Anderson, M. Nov, 2010 Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications)

#### 3.1 Vaiheistetun ultraääniluotauksen periaate

Tavanomaisissa luotaimissa rikkomattomassa koetuksessa on joko yksi aktiivinen elementti, joka lähettää ja vastaanottaa korkeita ääniaaltoja tai kaksi elementtiä joista toinen lähettää ja toinen vastaanottaa ääniaaltoja. Vaiheistettu ultraääniluotain tyypillisesti sisältää 16 tai jopa 256 yksittäistä elementtiä (kuva 1), joita voidaan ohjata erikseen. Elementit on sijoitettu luotaimeen joko jonoon, 2D-matriisiin, rengasmaiseen muotoon, ympyrämatriisiin tai monimutkaisempaankin muotoon. Kuten tavanomaisissa luotaimissa, vaiheistetussakin luotauksessa voidaan käyttää vettä väliaineena ja kiilapalaa kulmaluotauksessa. Yleisimpien luotaimien taajuudet ovat kahden ja kymmenen MHz välillä.

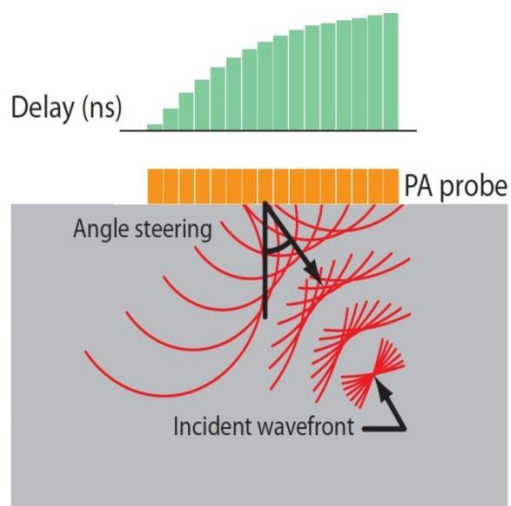
Vaiheistetun ultraääniluotauksen hienous on sen tietokonepohjainen ohjaus. Tietokonepohjainen ohjaus mahdollistaa monielementtisen luotaimen käytön, jolla voi vastaanottaa ja digitoida palaavat kaiut. Vaiheistetulla luotaimella voi myös pyyhkäistä äänirintaman taittuvaan kulmaan luotaimesta ja dynaamisesti kohdistaa eri syvyyksiin, mikä lisää joustavuutta ja valmiutta tarkastuksessa.

Ultraäänen vaiheistus käyttää hyödykseen aaltofysiikan perusidea. Vaiheistaminen tarkoittaa sitä, että luotaimen elementtien tai elementtiryhmien lähettämien pulssien välistä aikaa vaihdellaan siten, että ne muodostavat yhtenäisen aaltorintaman (kuva 2). Tämä toiminto lisää tai vähentää ääniaaltojen energiaa ennakoitavalla tavalla, mikä tekee säteen ohjauksen ja muotoilun mahdolliseksi. (Anderson, M. Nov, 2010 Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications)



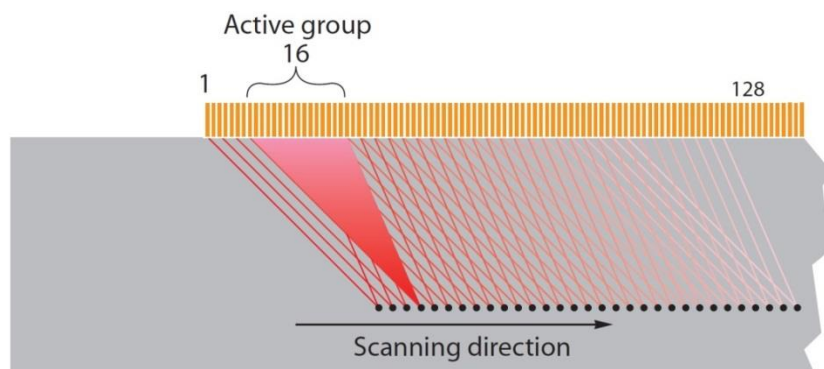
KUVA 1. Vaiheistetun ultraääniluotaimen rakenne (Anderson, M. Nov, 2010)

Kuvassa 1 on luotaimen rakenne, jossa elementit ovat erillään toisistaan. Luotaimeen voidaan johtaa sähköä siten, että yksittäinen elementti lähettää ultraääniaallon. Luotainta käytetään siten, että elementtien lähettämien pulssien välistä aikaa vaihdellaan, jotta saavutetaan haluttu muoto säteelle. Elementtejä käytetään 4 - 32 elementin pulssitusryhmissä, jotta saadaan pidettyä kurissa säteen leviäminen ja myös elementtiryhmiä pieni koko auttaa tarkennuksessa. Luotaimen pulssitusta ohjaavassa laitteessa on ohjelma polttovälin laskemiseen. Ohjelma ottaa huomioon luotaimen tiedot, kiilan mallin, tarkastettavan kappaleen geometrian ja akustiset ominaisuudet muodostaakseen oikean säteen muodon. Laite lähettää tutkittavaan kappaleeseen yksittäisiä äänirintamia, jotka hajaantuvat ja kasaantuvat yhdeksi pää-äänirintamaksi, joka etenee kappaleessa heijastaen vikoja kuten tavallinen luotain. Sädetä voidaan ohjata dynaamisesti eri kulmiin, polttovälin syvyyteen, polttopisteen kokoon siten, että yhdellä luotaimella voidaan tutkia kappaletta monesta eri perspektiivistä. Tämä ohjaus tapahtuu sekunnin sadasosassa.



KUVA 2. Luotaimen muodostama äänirintama kiteiden värähtelyä vaiheistamalla. (Anderson, M. Nov, 2010)

Kun yhdessä luotaimessa voi olla jopa 256 itsenäisenä värähtelevää elementtiä, joita käytetään neljän tai jopa 32 elementin ryhmissä, niin lopputuloksena on isompi luodattava alue, (kuva 3) kuin normaalilla luotaimella kuvattaessa (kuva 4).



KUVA 3. Esimerkki elementtiryhmän käytöstä lineaariluotauksessa. (Anderson, M. Nov, 2010)

### 3.2 Vaiheohjattu luotaus verrattuna tavanomaiseen luotaukseen

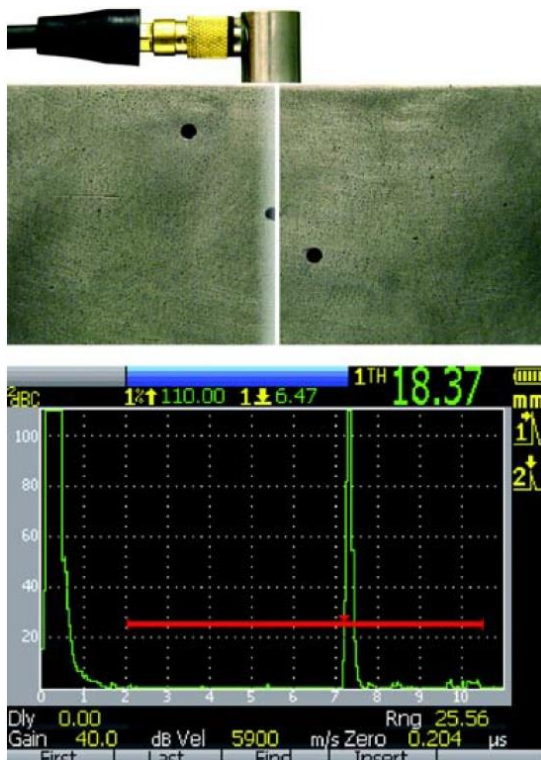
Vaiheohjattua luotautusta voidaan käyttää melkein kaikkialla, missä tavanomaista luotautusta käytetään. Hitsisauman tarkastus, ainevahvuuden mittaaminen ja halkeamien etsintä on yleisimpiä ja tärkeimpiä vaiheistetun luotauksen käyttökohteita. Luotautusta käytetään eri teollisuuskohteissa kuten ilmailussa, voimalaitoksissa, kemianteollisuudessa, elintarviketeollisuudessa, putkilinjojen tarkastuksessa ja huollossa, rakennuksien teräsrakenteissa ja yleisesti tuotannossa. Vaiheohjattua luotautusta käytetään myös korroosiokuvauksissa kuvaamaan materiaalin profiilia ja jäljellä olevaa ainevahvuutta. Vaiheohjatun luotaimen hyötyjä verrattuna tavalliseen luotaimen on sen monielementtirakenne, joka mahdollistaa ohjauksen, kohdistamisen ja monta eri kuvaustapaa yhdellä luotaimella. Vaiheohjatulla luotaimella voidaan myös tarkastaa suurempi alue liikuttamatta luotainta. Tämä helpottaa monimutkaisten geometrioiden tarkastamista. Kohdistus tapahtuu ohjelmistolla, joka mahdollistaa säteen koon ja muodon muovaamisen optimaaliseksi odotetun vian etsintään. Vaiheohjattuluotaus on noin kymmenen kertaa nopeampaa kuin tavallinen ultraääniluotaus. Luotaimen huono puoli on vaiheohjatun korkeampi hinta ja käyttäjältä vaadittava koulutus. Huonot puolet kuitenkin kompensoituvat nopeuden ja monikäyttöisyyden ansiosta. (Anderson, M. Nov, 2010 Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications)

### 3.3 Ultraääniluotauksen kuvaustavat

Tässä luvussa kerrotaan ultraääniluotauksen yleisimmät kuvausmenetelmät. Tavanomainen luotaus sekä vaiheohjattu luotaus käyttävät molemmat korkeataajuuksia aaltoja vikojen havaitsemiseen ja ainevahvuuden tutkimiseen. Molemmissa menetelmissä tiedonesitystapa on hyvin samankaltainen. Useimmissa menetelmissä tutkitaan kaiun kahta perusparametria, jotka ovat kaiun suuruus eli amplitudi ja missä kaiku syntyy verrattuna aikaan nollapisteestä. (Anderson, M. Nov, 2010 Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications)

### 3.3.1 A-skannaus (A-Scans)

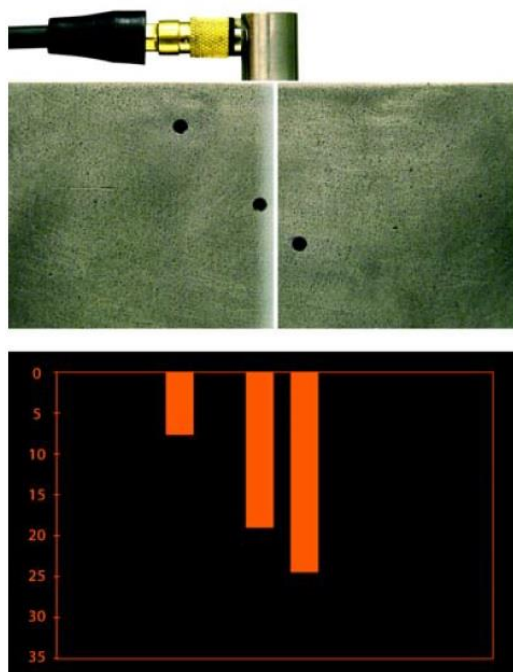
Yksinkertaisin esitystapa ultraääniäallon tiedoille on A-skannauksen muoto. A-skannauksessa kaiun amplitudi ja äänen lähetyksestä kuluneen ajan kuvaaja piirretään yksinkertaiselle ruudukolle, jossa pystyakselilla on amplitudi ja vaaka-akselilla aika (kuva 4).



KUVA 4. A-skannauksen tiedon esitystapa. (Anderson, M. Nov, 2010)

### 3.3.2 Yksittäisen arvon B-skannaukset (Single Value B-Scans)

Toinen kuvantotapa, jolla esitellään A-skannauksen tietoja, on yksittäisen arvon B-skannaus. Menetelmää käytetään vian etsimisessä ja ainevahvuuden mittaamisessa. Ainevahvuuden poikkeamat piirtyvät ajan ja paikan kaavioon (kuva 5). Tiedon esitystavassa on myös paikkatieto, joka tulee sähkömekaanisesta laitteesta eli encoderista (electromechanical device). Encodereita käytetään laitteissa, joita operoidaan manuaalisesti tai automatiikalla. Molemmissa tapauksissa encoderi kerää paikkatietoa ja yhdistää sen luotaimen tietoon.

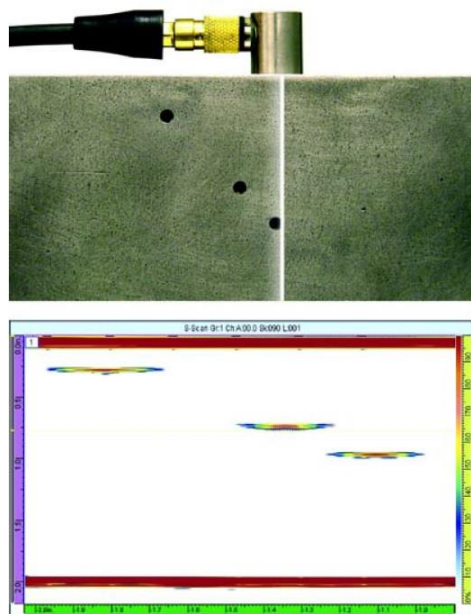


KUVA 5. B-skannauksen tiedon esitystapa. (Anderson, M. Nov, 2010)

### 3.3.3 Poikkipinta-B-skannaukset (Cross-sectional B-Scans)

Poikkipinta-B-skannausmenetelmä sisältää enemmän tietoa kuin yksiarvoinen B-skannaus.

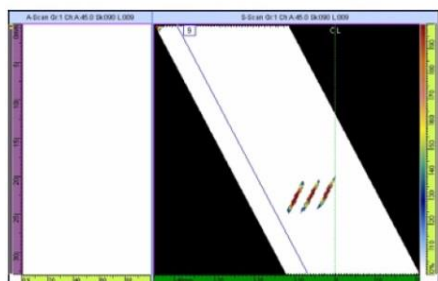
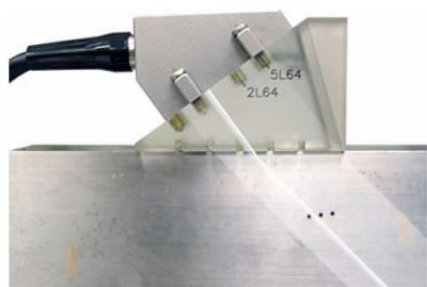
Poikkipinta B-skannaus sisältää samat tiedot kuin A-skannaus ja lisäksi vielä paikkatiedon luotaimen sijainnista. Menetelmä eroaa yksiarvoisesta B-skannauksesta vian koon tiedolla (kuva 6)



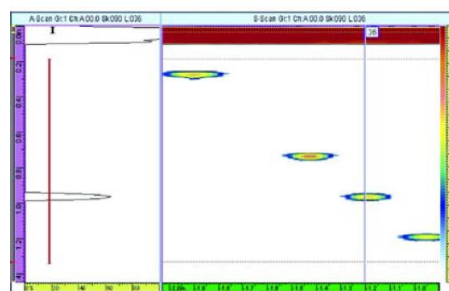
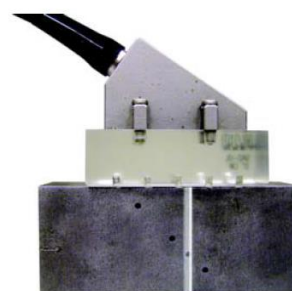
KUVA 6. Poikkipinta- B-skannausmenetelmä. (Anderson, M. Nov, 2010)

### 3.3.4 Lineaarinen skannaus (Linear Scans)

Lineaarinen skannaus käyttää vaiheohjattua luotautusta. Ohjelma ohjaa elementtiryhmiä vaiheittain (kuva 3). tämä tarkoittaa, että luotainta ei tarvitse liikuttaa, jotta saadaan volumetrinen kuva koko lineaariluotaimen matkalta. Menetelmällä voidaan luodata kappaletta kuten A-skannauksessakin mutta luotain antaa enemmän tietoa ja viat ovat helpommin huomattavissa. Kuvassa 7 ja 8 luotainta pidetään paikallaan ja se ilmaisee koko matkaltaan (1,5") kalibrointikappaleen viat.



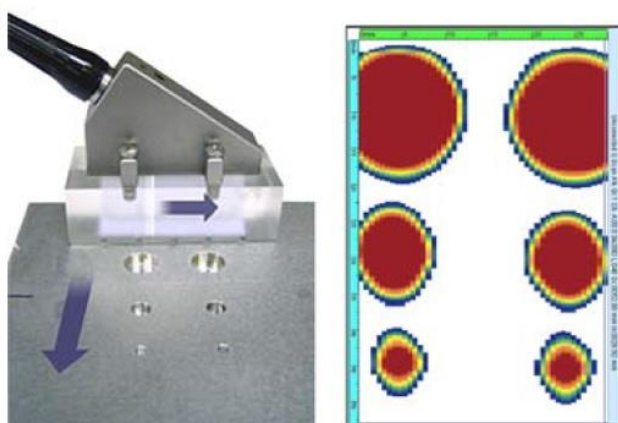
KUVA 7. Lineaariskannaus kulmalla.  
(Anderson, M. Nov, 2010)



KUVA 8. Lineaariskannaus  
normaalikulmalla. (Anderson, M. Nov,  
2010)

### 3.3.5 C-Skannaus (C-Scans)

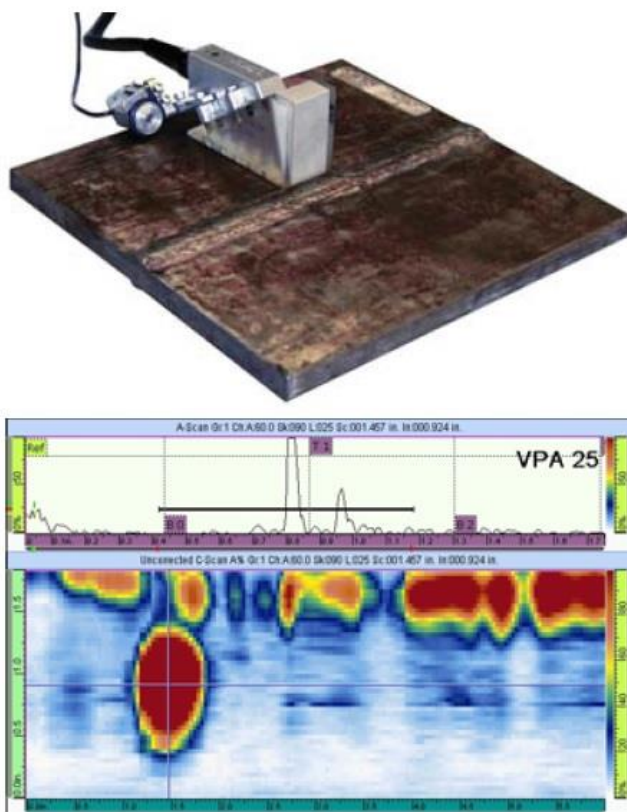
C-skannaus on kaksiulotteinen esitystapa, jossa luotaimesta saadut tiedot esitetään tasokuvana tai yläkuvana. Kuva on samankaltainen kuin radiografiset kuvat. Tasokuva voidaan muodostaa tasaisille kappaleille X- ja Y-koordinaattitietojen avulla ja sylinterimäisille kappaleille akseli- ja kulmatiedoilla. Kuvassa 9 on kuvattu C-skannauksen muodostama tasokuva. Luotainta on käytetty siten, että sitä on liikutettu nuolen suuntaan ja luotain on tallentanut reiät sekä niiden paikkatiedon, kuten oikean puoleisessa kuvassa näkyy.



KUVA 7. C-skannaus. (Anderson, M. Nov, 2010)

Lineaarista vaiheohjattua luotainta käytetään yleisesti hitsaussaumojen tarkastuksessa. Lineaariluotain ja kiilapala asetetaan siten, että luotain on kohtisuorassa saumaan nähden kuten kuvassa 10. Luotaimessa on kiinni encoderi, joka kerää paikkatiedon, jonka ohjelmisto yhdistää sen luotaimen lähettämään tietoon. Näin ollen kuva tallentuu paikkatiedon kera helpottaen virheiden merkitsemistä ja dokumentointia. Luotainta liikutetaan sauman mukaisesti ja kappaleen volumetriset tiedot tallentuvat sauman kohdalta. On suositeltavaa käyttää mekanisointilaitetta, jos halutaan toistettavissa oleva tulos.

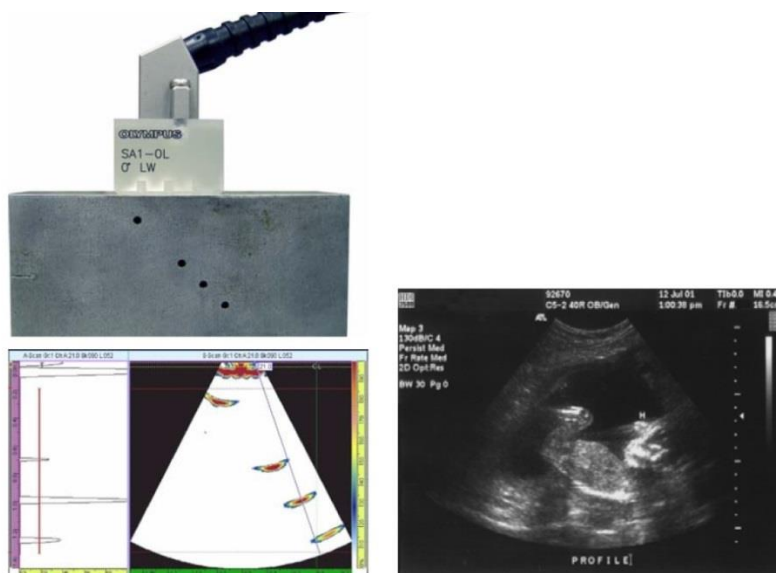




KUVA 8. One-line-skannaus, luotain ja encoderi. (Anderson, M. Nov, 2010)

### 3.3.6 S-Skannaus (S-Scans)

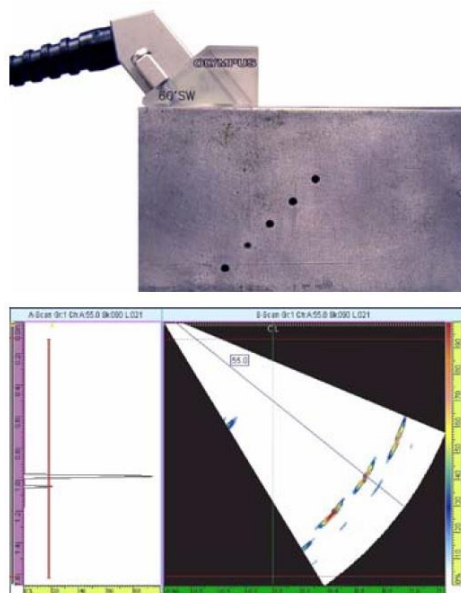
S-skannaus käyttää kaikkia polttovälejä toisin kuin edellä esitellyt menetelmät. Luotain lähettää eri syvyyksiin ja kulmiin keskittyneitä aaltoja. Tätä menetelmää käytetään myös sovelluksena lääketieteessä (kuva 11).



KUVA 9. S-Skannaus nolla-kulmalla ja ultraäänikuva sikiöstä. (Anderson, M. Nov, 2010)

Kuvassa 11 vasemman puoleisessa tuloksessa luotain kuvaa kappaletta -30 ja +30 asteen välillä eli yhteensä 60 asteen alueelta. S-skannausta käytetään myös kulmassa kiilapalalla. Luotain tulee yleensä 35 - 70 asteen kulmaan (kuva 12).

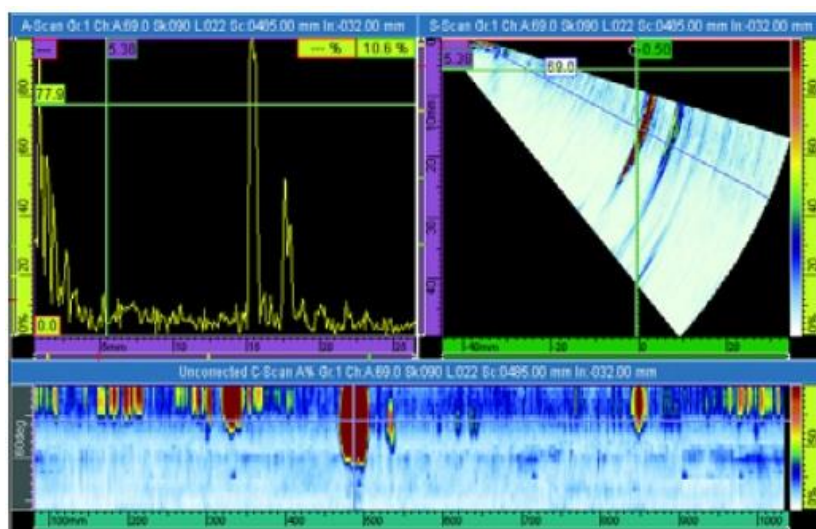




KUVA 10. S-Skannaus +35 - +70 asteen kulmalla. (Anderson, M. Nov, 2010)

### 3.3.7 Tiedon yhdistäminen ja kerääminen

Vaiheohjatussa ultraääniluotauksessa kappaleen volumetrinentieto saadaan graafisesti esitettynä reaaliajassa ohjauslaitteen näytölle. Reaaliaikainen tieto nopeuttaa ja helpottaa vikojen löytymistä. Vaiheohjatussa luotauksessa tietoa on saatavilla paljon ja sitä voidaan tallentaa paikkatiedon kera. Kun luotauksesta tallennetaan kaikki tieto, voidaan tiedoista muodostaa kaikki kuvannot (kuva 13).



KUVA 11. Yhdistetty A-, S- ja C-Skannauksen tiedon esitystavat. (Anderson, M. Nov, 2010)

Jälkianalysointi on helppoa ja tietojen yhdistäminen yhteensopivaksi esimerkiksi A-, S- ja C-skannauksesta, parantaa vian tunnistamista (kuva 13). Kun volumetrinen tieto kerätään paikkatiedon kanssa on suositeltavaa käyttää mekanisointilaitetta, jotta tulos olisi toistettavissa.

## 4 MEKANISOINTILAITTEEN KEHITYS

Päätavoitteena projektissa oli kehittää vaiheistetun ultraääniluotauksen mekanisointilaitetta. Toteutin työn projektina, joka sisälsi tavoitteet, lähtökohdat ja liitynnät, vastuiden jakamisen, toimitasuunnitelman laadinnan, aikataulun, riskianalyysin, projektin vaikuttavuuden ja hyödyt sekä tiedottamisen.

### 4.1 Tavoitteet

Tavoitteena oli toteuttaa kehitysprojekti päättötyönä ja valmistua. Kehitysprojekti sisälsi monta erilaista tavoitetta, joille kestot arvioitiin ja laitettiin ne kronologiseen järjestykseen. Projektin tavoitteita olivat päätavoite, projektin käynnistys, projektisuunnitelman laadinta, mekanisointilaitteeseen tutustuminen, laskelmat ja mitoitus, luonnosten teko ja esittely, laitteen mallinnus sekä koneistus ja kokoonpano.

### 4.2 Lähtökohta ja liitynnät

Projektin alkaessa DEKRAn alue- ja kehityspäällikkö Kari Paananen esitteli vanhan mekanisointilaitteen (liite 3 ja 4). Lähtökohtana oli vanha laite, jota haluttiin kehittää. Laitteen ominaisuuksia käytiin läpi ja laadittiin ominaisuusluettelo. Kävimme läpi laitteen toimintaa ja ympäristöä, jossa laitteen kanssa työskennellään. Laitteen esittelyn jälkeen pidin aihekuvausesitelmän kehitettävästä laitteesta ohjaavalle opettajalle Anssi Suhoselle ja linjajohtajalle Timo Lipposelle. Järjestin kickoff-palaverin DEKRAn toimistolla, johon osallistui Suhonen ja Paananen. Palaverissa määritettiin projektin tehtävät, tavoitteet, tulokset, jäsenten tehtävät, pelisäännöt, työtarjous, sopimus, suunnitelma ja käytiin muita esille tulevia asioita, kuten vaatimusluettelon sisältöä.

Projekti on DEKRAn tuotekehitystä, johon ei suoranaisesti liity muita projekteja. Projektiin liittyviä henkilöitä olivat Esa Pöyhönen työnsuorittajana, DEKRAlta Paananen ja Jouni Heikkinen asiantuntijoina ja Suhonen ohjaavana opettajana sekä Mika Mäkinen materiaalitekniikan asiantuntijana Savonia AMK:lta. Työn tilasi DEKRA ja Savonia AMK tarjosi laitteet, tilat ja ohjelmat työn suorittamiseksi.

### 4.3 Ominaisuuksien vaatimukset ja ratkaisut

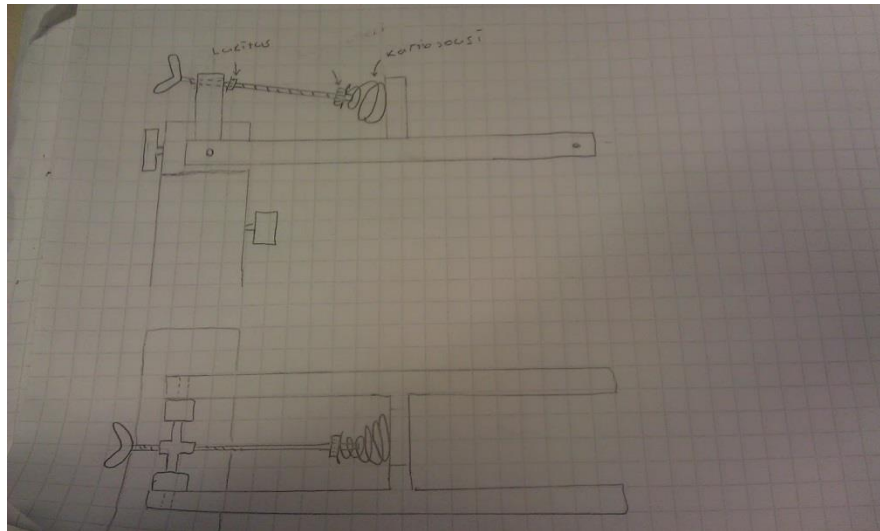
Laitteelle luotiin vaatimusluettelon pohja kickoff-palaverissa, jossa määritettiin parannettavat ominaisuudet. Suunnittelutyö pohjautuu vaatimusluetteloon.

Laite oli käytössä työkaluna, joten siitä haluttiin rakenteellisesti jämäkkä. Laitteeseen tulee kiinni encoderi ja ultraääniluotain. Jämäkkyys parantaa myös tietojen paikkansapitävyyttä, kun luotaimen ja encoderin tiedot yhdistetään. Luotaimen jämäkkyys saavutettiin suunnittelemalla osat paksuiksi ja liityntäkohdat tiukoiksi. Laitetta käytetään tällä hetkellä pääasiassa ydinvoimalatyömailla. Siellä on tarkastettavia kohteita, joista lähtee radioaktiivista säteilyä. Siksi laitteen kiinnitys haluttiin nopeammaksi ja helpommaksi. Pannan kiristyksessä oli ongelmia kun messinkinen ruuvi ja

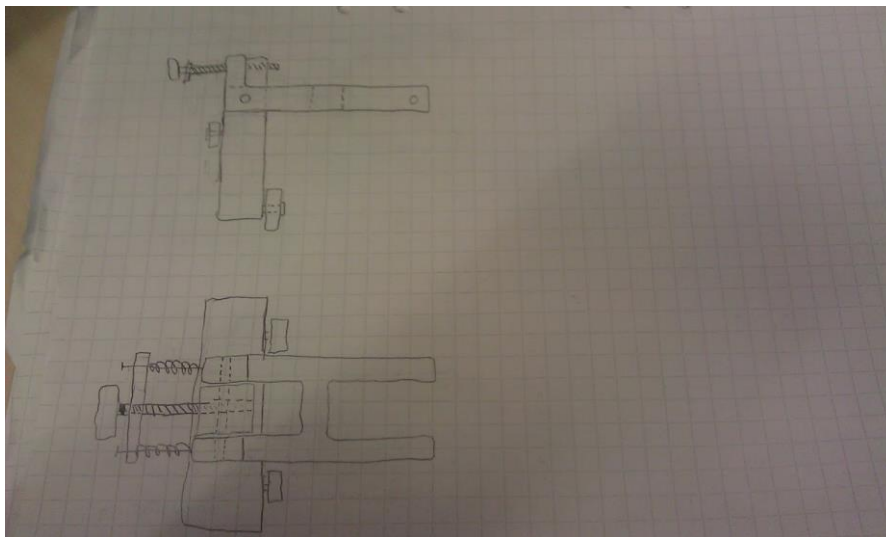
alumiininen kierre pannassa kuluivat ja lukkiintuivat. Kiristys muodosti ruuvin ja kierteen väliin kulman, joka aiheutti lukkiintumisen. Luotaimen kanssa käytettävän kiilan kontakti tarkastettavaan putkeen on hyvin olennainen asia, joka on säilytettävä laitteessa. Kiilan ja putken väliin suihkutetaan vettä kontaktin säilyttämiseksi. Kiilan kontaktiin vaikuttaa eniten tukeva panta sekä jousivoima, joka puristaa kiilaa putkea vasten jokaisessa asennossa. Laitteen rakenteen on oltava kevyt, jotta tarkastettaessa pystyssä olevia putkia laite ei valuisi. Laite valmistettiin alumiinista ja messingistä, jotta se pysyisi kevyenä ja tukevana. Materiaalin valintaan vaikutti myös tarkastettavan kohteen materiaali. Laitteessa ei saa olla yhtään hiiliteräsosaa, joka voisi osuessaan ruostumattomaan putkeen aiheuttaa nopeutuvaa korrosiota. Rakennetta tuli madaltaa siten, että laitetta voitaisi käyttää putkistolinjojen tarkastuksessa. Putkistolinjat ovat hyvin tiivistä rakennettuja. Jotta matala rakenne saavutettiin, tuli kehittää uusi mekaaninen ratkaisu laitteeseen. Ominaisuus saavutettiin käyttämällä hyväksi niveltä ja jousia. Jousen aiheuttama veto muodostaa voiman nivelen kautta luotaimelle. Putken suuntaiselle akselille toivottiin encoderi. Encoderin säätöväliksi toiveena oli 1 mm. Toive kyseisestä ominaisuudesta ratkaistiin manuaalisella säädöllä. Säädettävyyden on 1,5 mm ja se tulee kirjata ohjelmiston kautta manuaalisesti. Säätö tehdään ruuvimeiselimillä ja ruuvin kiilakannalle on koneistettu kohdistusurat (liite 5). Kyseiseen ratkaisuun päädyttiin, koska säätöä ei tehdä kovin usein. Jousivoima haluttiin suuremmaksi ja säädettäväksi. Ominaisuus suunniteltiin samalla kun suunniteltiin rakennetta matalammaksi. Ominaisuus saavutettiin yksinkertaisella jousella ja säädettävyyden jouseen kiinnitetyllä ketjulla (liite 5). Vaatimuslistan ominaisuuksista jäi puuttumaan luotaimen nopea vaihdettavuus. Ominaisuus saavutetaan koneistamalla varressa olevat urat varren päähän asti aukeavaksi. Auki koneistetut urat mahdollistavat kiilan liu'uttamisen pois varresta kunhan säätöruuvit ovat löysytetty (liite 5).

#### 4.4 Suunnittelu

Aloin tutkia sekä vanhaa että kilpailijoiden mekanisointilaitteita ja etsiä erilaisia mekanismeja, jotka soveltuisivat projektiin. Tein kilpailija-analyysin ja kehitin uusia ratkaisuja, jotta mekanisointilaitte täyttäisi vaatimusluettelon ominaisuuksia mahdollisimman hyvin. Ensimmäiset ideat luonnostelin paperille (kuva 14 ja 15).

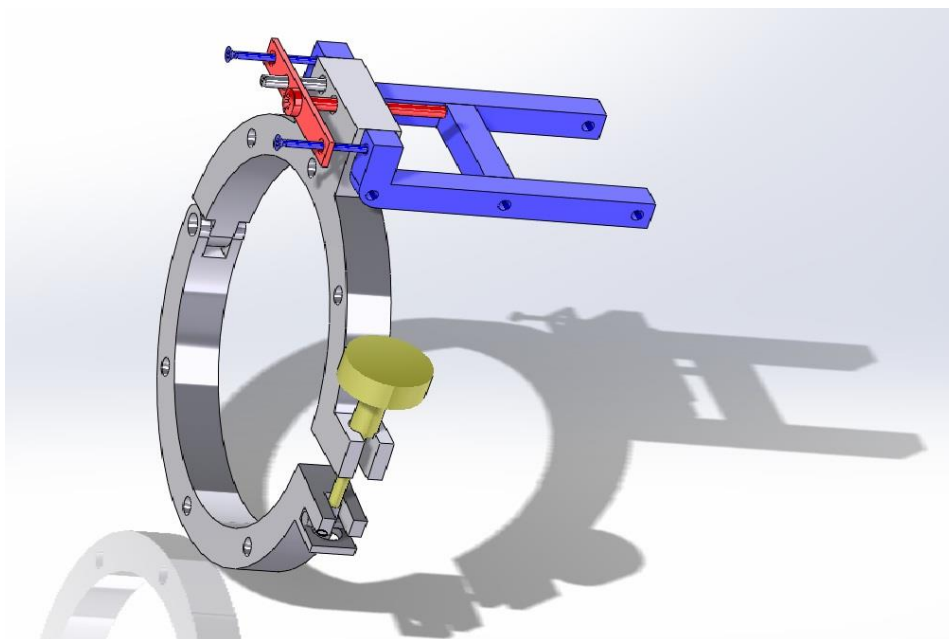


KUVA 12. Ensimmäinen luonnos, kartiojousellinen



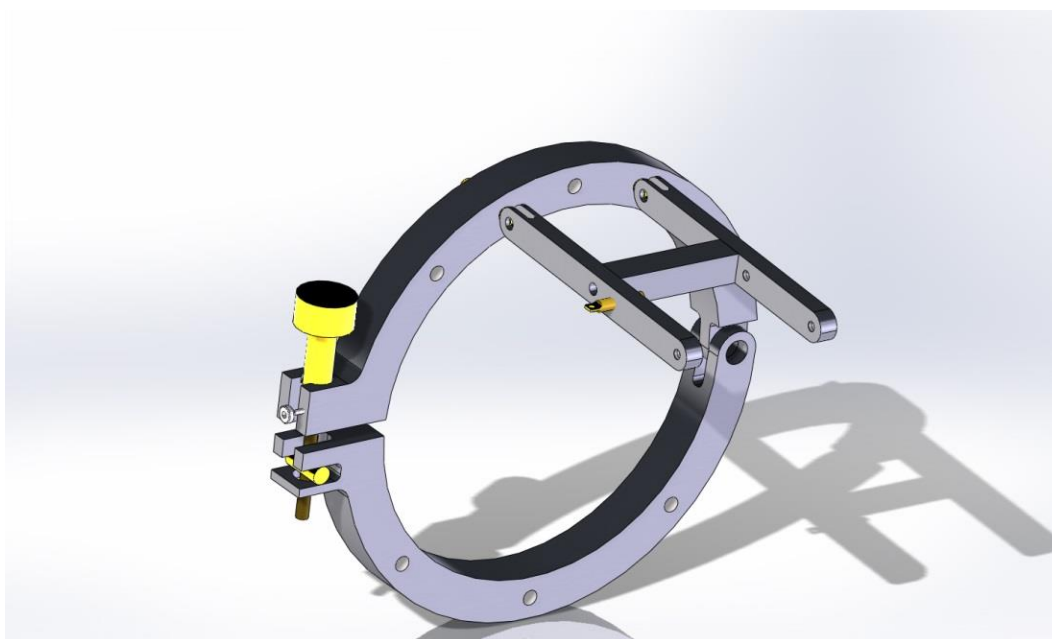
KUVA 13. Toinen luonnos, työntölevyllinen

Aloin mallintaa SolidWorksilla kuvan 15 luonnosta luonnosmaisesti. Huomasin mallinnuksen aikana epäkohtia ja turhia monimutkaisuksia. Malli ei olisi täyttänyt vaatimusluetteloa teknisellä ratkaisullaan. Kuvassa 16 näkyy, että tekninen ratkaisu muodostaa laitteelle kokoa korkeussuunnassa. Vaatimusluettelon mukaan laitteen tulee olla matala, jotta laite mahtuu ahtaisiin putkiväleihin. Laite tulee tehdä matalammaksi, joten hylkäsin työntölevyllisen luonnoksen.



KUVA 14. 3D-luonnos työntölevyllisestä luonnoksesta.

Kehitin uuden luonnoksen työntölevyllisen pohjalta (kuva 17). Kehitin uuden mekaanisen ratkaisun, joka täytti vaatimusluettelon vaatimukset. Uuden luonnoksen mekaniikka on nopeampi ja helpompi käyttää. Laite myös madaltui ja kevenyi. Kuvassa 17 näkyy ketjujousimallin luonnos. Jousi kiinnitetään keskellä kuvaa näkyvään toppiruuviin, josta lähtee ketju pannan kiristysruuviin. Ketjun lenkeillä säädetään jousivoima, joka pitää luotainta putkea vasten.



KUVA 15. Ketjujousimallin luonnos

Tein vaatimusluettelon ja kuvan 17 mukaisen mallin SolidWorksilla. Mallinnuksen aikana minun tuli ottaa huomioon koneistettavuus ja koneistulaitteen toleranssit. Mallinnuksen aikana selvisi jousen toiminta-alue. Jousivoiman säädettävyyden ehdoksi määritin, että täyteen pituuteen venytetyn jousen tulisi olla 3/4 varren ruuvien ja pannan ruuvien välisestä etäisyydestä. Tästä sain jousen maksimipituuden. Vaatimusluettelon vaatimus jousivoimasta oli kaksinkertaistaa jousen muodostama voima luotaimelle. Edellisen laitteen voima muodostui kahdella ohuella jousella, jotka muodostivat

voiman kohtisuoraan putkea vasten varren avulla. Uudessa laitteessa voima kohdistui nivelen ja varren avulla, jotka muodostivat kulman. Tämän vuoksi jousen vetävä voima ei ole kohtisuoraan putkea vasten. Varsi ja panta muodostivat noin 45 asteen kulman, jonka vuoksi jousen voima tuli nelinkertaistaa, jotta luotaimeen kohdistuva voima kaksinkertaistuisi. Suunnittelin pannan kiristysten ottaen huomioon vaatimuksen irtonaisista osista. Kiristysruuvi ei pääse tipahtamaan pannasta vaikka panta olisi auki. Mallinsin putken suuntaisen säädettävyyden viimeisenä. Ominaisuuden saavuttamiseksi suunnittelin luistikiskot varsiin ja osan, joka tulee varren ja kiilakehdon väliin. Tämä osan valmistettavuus piti selvittää koneistuskeskuksen mestarilta Reijo Keinäiseltä, joka tiesi laitteen toleranssit. Luisti on hyvin pieni ja tarkkaa koneistusta vaativa osa (kts. liite 5). Säädettävyys saavutettiin kiilakantaruuvilla, jolle on koneistettu lukitusurat varteen. Siirsin valmiin 3D-mallin MasteCamiin, jossa luotiin työstöradat koneistuskeskukselle.

#### 4.5 Koneistus ja kokoonpano

Koneistus toteutettiin Savonia AMK:n pystykaraisella koneistuskeskuksella ja sorvilla. Koneistuksesta vastasi koneistustekniikkalaboratorion mestari Reijo Keinänen. Koneistetut osat kokoonpantiin ja laite oli valmis.

#### 4.6 Esittely

Laitteen esittely tapahtui DEKRAN Kuopion toimipisteellä Kari Paanaselle sekä sähköpostin välityksellä kuvin ja selittein Jouni Heikkiselle. Laitetta pidettiin hyvänä ja se lähetettiin DEKRAN pääkonttorille Vantaalle.

## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli ultraääniluotauksessa käytetyn mekanisointilaitteen kehityprojekti. Projektin tavoitteena oli kehittää mekanisointilaitetta, jota käytetään putkien ja putkiliitosten tarkastukseen vaiheistetulla ultraääniluotaimella. Projekti alkoi marraskuussa 2012 ja loppui maaliskuussa 2013.

Projektin suunnittelu oli onnistunut. Projekti eteni suunnitellusti. Budjetti ei ylittynyt ja laitteen valmistuskustannukset olivat noin 2 200 €.

Myös laitteen suunnittelutyö onnistui. Laite täyttää kaikki vaatimusluettelon ominaisuudet paitsi luotaimen vaihdettavuuden. Tämän ominaisuuden laite täyttää pienellä muutoksella, joka on helppo toteuttaa yksinkertaisilla työkaluilla.

Valmistunut laite on luovutettu DEKRALle. Laitteeseen oltiin tyytyväisiä. Laitteelle tehdään tarkastusmenetelmäkoe, jonka jälkeen se voidaan ottaa käyttöön. Laite on tarkoitus ottaa käyttöön Lovisan ydinvoimalarevisiossa ensi syksynä.

Olen työllistynyt DEKRALle NDT-tarkastajaksi ja odotan, että suunnittelemani laite tuo minulle vastaavankaltaisia projekteja.

## LIITE 1 MENETELMIEN VERTAILU

Menetelmä	Mittaa tai ilmaisee	Soveltuvuus	Edut	Rajoitukset
Magneettiset menetelmät: jauhe, nesteseos, magneettinen kumi.	Pintaa tai lähelle pintaa ulottuvat viat: säröt, huokokset, sulkeumat, permeabiliteetin vaihtelut.	Ferromagneettiset aineet. Valut, takeet, valssatut, vedetyt, purutetut, hitsit ym. Eri-tyyppisen lujuuden aineisiin poratut reiät.	Erittäin herkkä kapeissa sä- röissä. Melko nopea ja hal- pa. Siirrettävä. Rakojen, put- kien ym. sisäpuolinen tar- kastus. Ohut pinnoite ei haittaa. Väsymissäröjen tut- kimiseen.	Osat puhdistettava ennen ja jälkeen kokeen. Demagneetoi- ta. Magneettikentän suunta ja voimakkuus arvosteltava. Vaatii asiantuntemusta. Dokumentoin- tivaikaisu.
Tunkeumaneste	Avoimet viat, kuten säröt, huokokset, heikko liittyntä ym.	Kaikki tiiviit pinnat. Ta- keet, hitsit ym. Myös epämetalliset ai- neet, muovit, keraami- set tuotteet ym.	Halpa. Kannettava. Silmä- määräinen tarkastus ja ar- vostelu. Tulos helppo tulkit- ta. Väsymismurtumat voi havai- ta.	Esi- ja jälkipuhdistus. Pinnoit- teet ja pinnan umpeutuminen (esim. hionnassa) estää näytöt. Dokumentointivaikaisu.
Pyörrevirta	Säröt pinnassa ja sen lähellä. Särönsyvyys. Seinämän ja pinnoitteen paksuus. Lämpökäsittely, seosaineet.	Putket, hitsit, tangot, langat, kuulat, kuulalaakerit. Metalliset pin- nat. Vertailut. Aines- kaannukset. Metallien etsintä.	Nopea, halpa. Automatisoi- tavissa. Ei kytkentäainetta.	Vain sähköäjohtavat aineet ja ohuet pinnat. Muodon vaikutus. Vertailukappale välttämätön. Suuri vaikutus permabiliteetin ja sähköjohtavuuden vaihte- luilla.
Röntgen- radiografia	Sisäiset viat, huokokset, sulkeumat, pak- suusvaihtelut, syöpy- minen. Tiheyden vaihtelut.	Valut, hitsit, sähkö- komponentit, suljetut rakenteet, releet. Pie- net, ohuet, mutkikkaat tuotteet. Epämetallit.	Arkistokelpoinen välitön tu- los (filmi). Vaihdeettava ener- giataso. Herkkä tiheyden vaihteluille.	Suuri peruskustannus. Vian suunnan vaikutus näytettävän todennäköisyyteen. Syvyys ei määritettävissä. Säteilysaara. Hajasteily alentaa herkkyyttä. Raskas.
Ultraääni	Sisäiset viat ja vaihte- lut, säröt, liitosviat, huokokset, sulkeumat, kerrostumat, lamelli- peämät, jne.	Työstetyt osat, valut. Hitsi- ja kovajuoteli- tokset. Kitkaliitokset. Epämetallituotteet.	Säröherkkyys hyvä. Tulos vä- littömästi saatavissa. Auto- matisointi ja dokumentointi- mahdollisuus. Kannattava. Hyvä läpäisevyys.	Akustinen kytkentä (vesi, öljy tms.) vaaditaan. Pienet, ohuet ja monimutkaiset osat vaikeita tutkia. Vertailukappale välttä- mätön. Hyvin harjaantunut hen- kilö tarpeen käsiliuotauksessa. Ainerajoituksia.



## LIITE 2 VAATIMUSLUETTELO

Muut.	K/V/T	Kehitettävän tuotteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:	Vastaava
	K  V  T	Kiinteä vaatimus: Vaatimuksen tulee toteutua kaikissa tilanteissa  Vähimmäisvaatimus: Vaatimuksella on raja-arvo, joka on saavutettava ja jonka ylittäminen tai alittaminen on toivottavaa  Toivomus: Tarve, joka otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan	
	K	Jämäkkä rakenne	
	K	Panta on nopea laittaa paikoilleen / helppo käyttää	
	K	Kiilalla hyvä kontakti joka asennosa	
	T	Helppo valmistaa	
	T	Varaosien helppo saatavuus	
	K	Kevyt rakenne, jotta y-asennossa ei tapahdu valumista	
	T	Vähän irto-osia	
	T	Encoderin säädettävyys	
	K	Matalampi rakenne jotta laite mahtuu putkien väliin, minimissään luotaimen korkuinen	
	K	Pannan kiinnitysruuvi toimivaksi	
	T	Y-akselille anturi, säädettävyys 1mm välein	
	K	Pystyasennossa laite ei saa valua	
	K	Jousivoima suuremmaksi ja säädettäväksi	
	T	Helppo vaihdettavuus eri luotaimille, Irroitettava luotain	

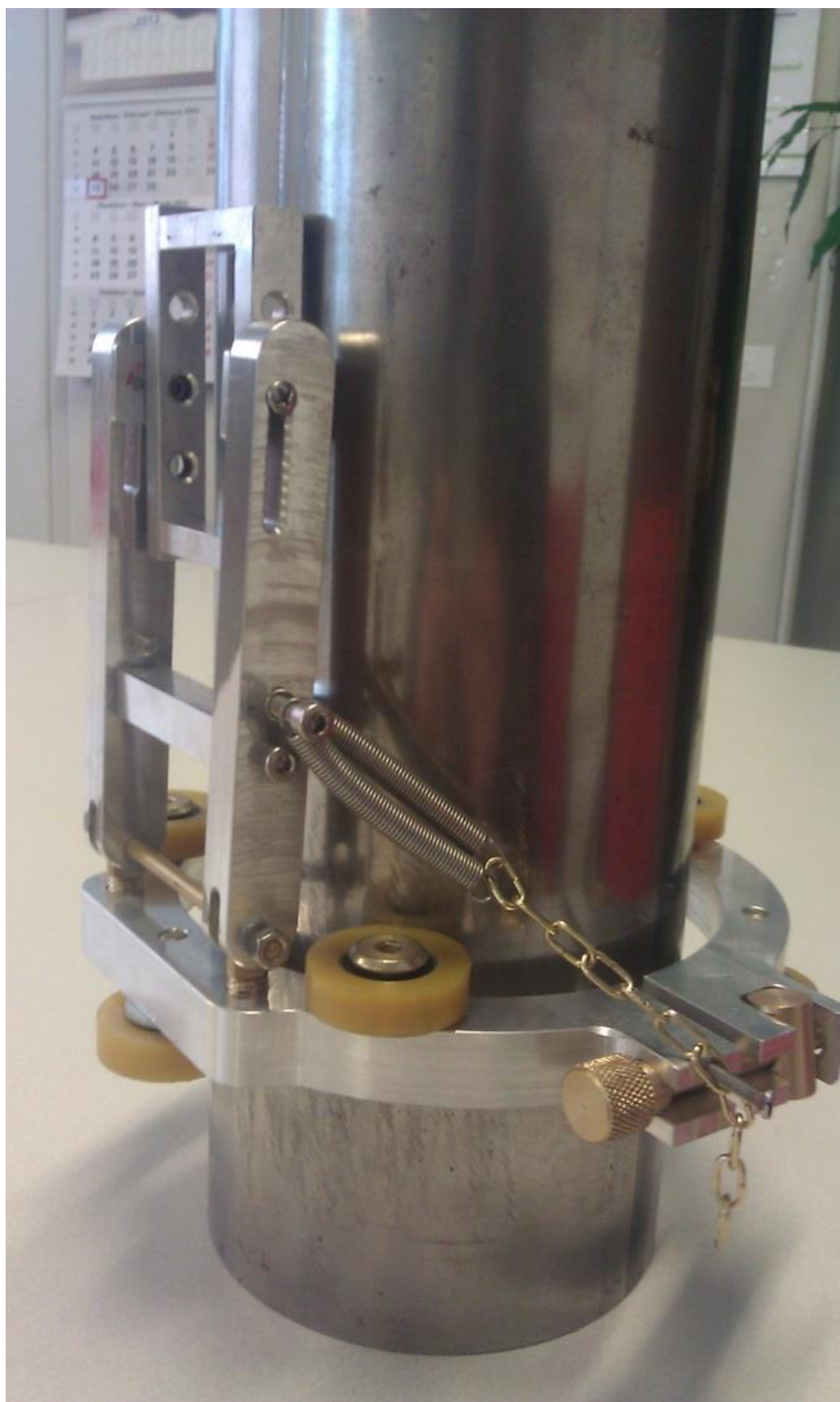
LIITE 3 VANHA MEKANISOINTILAITE, ENCODER



## LIITE 4 VANHA MEKANISOINTILAITE

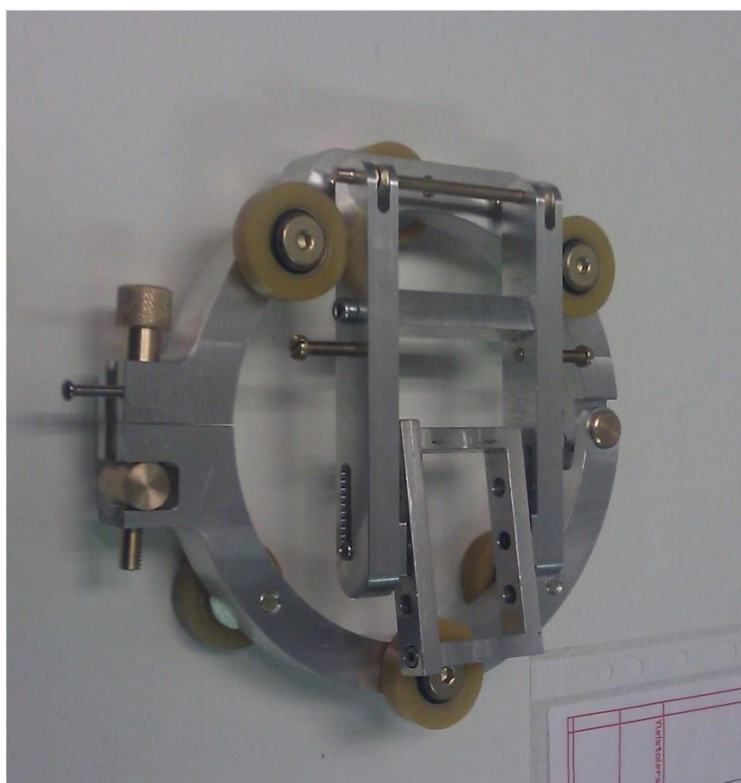
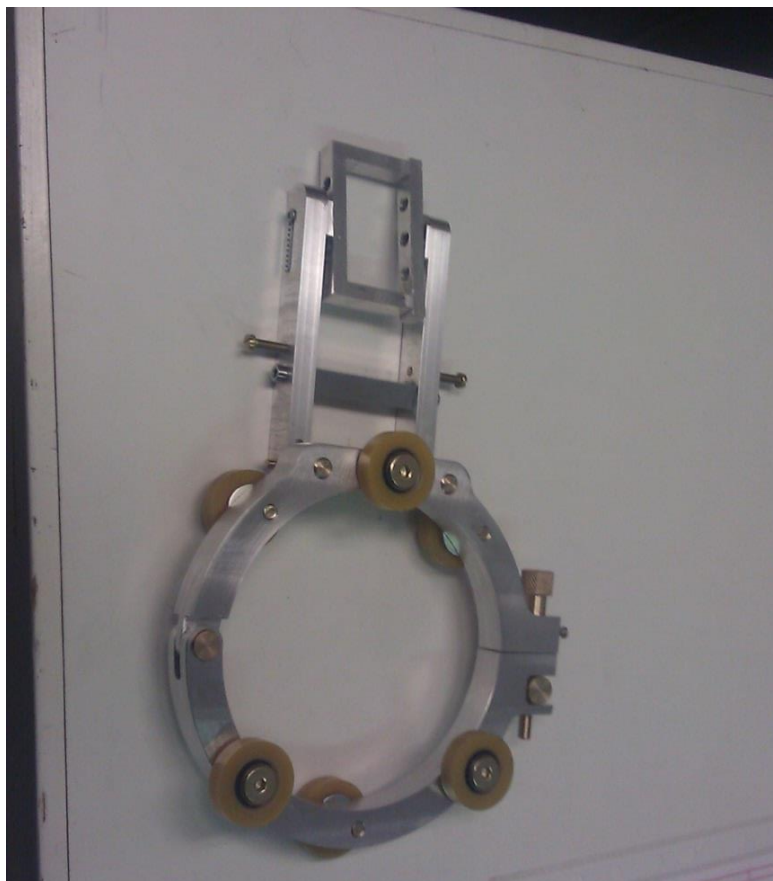


## LIITE 5 UUSI MEKANISOINTILAITE





## LIITE 6 UUSI MEKANISTOINTILAITE AUKINAISENA JA TAITETTUNA



## LÄHTEET

Anderson, M. Nov, 2010 Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications, Olympus NDT, 48 Woerd Avenue, Waltham, MA 02453, USA

Cheeke, J. David, N. 2002 Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves, CRC Press LLC.

EN 12668-1 Non-destructive testing – Characterization and verification of ultrasonic examination equipment – Part 1: Instruments

EN 12668-2 Non-destructive testing – Characterization and verification of ultrasonic examination equipment – Part 2: Probes

EN 583-2 Non-destructive testing – Ultrasonic examination – Part 2: Sensitivity and range setting

SFS-EN 1290 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauh tarkastus.

SFS-EN 1435 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus.

SFS-EN 1714 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus.

SFS-EN 571-1 Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus

SFS-EN 12668-3 Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänilaitteiden ominaisuuksien todentaminen. Osa 3: Ultraäänilaitteisto

SFS-EN 473 Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevynti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet

SFS-Käsikirja 402-1. Elokuu 2011 1.painos , Suomen Standardisoimiliitto RY.

Åström, T. NDT-menetelmien kehitysnäkymät hitsausliitosten tarkastuksessa, Tekninen tiedotus 2/90. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.